L'IMMAGINARIO SCIENTIFICO NOTIZIE

"Io non so che cosa possa aver pensato di me il mondo, ma per conto mio mi sembra di essere stato come un fanciullo che, giocando sulla riva del mare, si sia divertito a trovare, di quando in quando, un ciottolo più liscio o una conchiglia più bella dell'ordinario, mentre l'immenso oceano della verità stava davanti a me ancora tutto da scoprire". Isaac Newton

Febbraio 1993 • N° 9 – Nuova serie – *Edizione speciale*

UNA NOTTE STELLATA

L'astronomia è forse la scienza più antica. I primi osservatori del cielo, impressionati e forse spaventati da un'oscurità tanto immensa, hanno compiuto il primo passo per conoscere e capire identificando nelle costellazioni forme familiari: oggetti quotidiani, animali, eroi... Gli occhi con cui oggi guardiamo il cielo si sono trasformati in strumenti potenti, sensibilissimi, capaci di scrutare a distanze un tempo impensabili, in computer superveloci, in grado di calcolare in una frazione di secondo formule per le quali non bastava tutta la vita di un uomo. Eppure l'osservazione del cielo a occhio nudo in una notte stellata ci ispira lo stesso fascino, la stessa curiosità e la stessa leggera inquietudine che hanno provato gli antichi astronomi. La cosmologia è la scienza che indaga la struttura dell'Universo, la sua origine ed evoluzione; i confini della ricerca cosmologica si sono allargati dalla Terra, al Sistema solare, alle stelle e galassie... man mano che teorie e mezzi tecnologici hanno permesso di estendere i confini dell'Universo osservabile. In questo numero, in occasione della conferenza di Alberto Masani e Margherita Hack (1.o marzo, ore 18, Centro Congressi Ente Fiera) proponiamo alcuni temi che toccano settori di punta dell'astrofisica e della cosmologia moderne che a Trieste vengono sviluppate in istituti riconosciuti a livello nazionale e internazionale. Speriamo, con questo, di soddisfare alcune delle curiosità dei nostri lettori e di stimolarne altre.



I MATTONI DEL CIELO

Margherita Hack, astrofisico, Osservatorio Astronomico di Trieste

Le abbondanze cosmiche degli elementi chimici permettono di ricostruire la storia della materia dall'Universo primordiale, attraverso l'evoluzione stellare e la formazione del Sistema solare.

Le analisi quantitative degli elementi presenti sulla Terra, nei meteoriti e nei campioni lunari, nonché i valori ricavati dall'analisi della radiazione emessa dai corpi celesti hanno mostrato che nell'Universo esistono 272 varietà stabili e 55 radioattive — includendo tutti i vari isotopi. Ricordiamo che si dicono isotopi gli elementi i cui atomi hanno lo stesso numero di protoni ed elettroni, e quindi le stesse caratteristiche chimiche, ma un diverso numero di neutroni e quindi masse leggermente diverse. Ad esempio, l'idrogeno nella sua forma più abbondante in natura ha un nucleo composto di un protone, mentre il nucleo del deuterio (idrogeno pesante) contiene un protone e un neutrone e quello del trizio un protone e due neutroni.

L'idrogeno e, a notevole distanza, l'elio sono di gran lunga gli elementi più abbondanti nell'Universo. Circa il 70% della massa dell'Universo è idrogeno, il 27% o 28% elio e solo il 2% o 3% è dovuta a tutti gli altri elementi. Nelle stelle molto più vecchie del Sole la percentuale di elementi più pesanti dell'idrogeno e dell'elio può essere da 10 a 100 000 volte più piccola. Sulla Terra e in generale sui pianeti le percentuali di idrogeno ed elio sono minori, perché questi elementi volatili sono in tutto o in parte sfuggiti all'attrazione gravitazionale del pianeta; però le percentuali non volatili sono circa uguali a quelle osservate nel Sole e nelle stelle.

Le abbondanze degli elementi e dei loro isotopi ci permettono di ricostruire la storia della materia che osserviamo e la ragione della distribuzione delle abbondanze indicate dalle osservazioni.

Il dominio dell'idrogeno su tutti gli altri elementi ha suggerito che tutti i nuclei si siano formati per nucleosintesi a partire dal più semplice, il protone. Ma i processi di nucleosintesi possono avvenire solo in condizioni di alte temperature e densità. In natura queste condizioni si trovano solo all'interno delle stelle, dove le temperature sono comprese tra decine di milioni e miliardi di gradi e le densità fra un centinaio e qualche miliardo di volte quella dell'acqua, oppure nell'Universo primordiale, pochi minuti dopo il Big Bang quando la temperatura era di circa un miliardo di gradi e la densità circa quella dell'acqua.

Negli anni '40 Carl von Weizacker tentò di spiegare la formazione di tutti gli elementi nell'interno delle stelle e George Gamow nell'Universo primordiale, ambedue immaginando di aggiungere un neutrone alla volta cominciando dal protone. Ma sia l'uno che l'altro si trovarono di fronte a difficoltà insormontabili, perché non esiste un elemento stabile di peso atomico 5, per cui il processo si arrestava dopo la sintesi dell'elio.

La prima teoria che spiegava soddisfacentemente la formazione di tutti gli elementi nell'interno delle stelle e durante il corso della loro evoluzione fu proposta nel 1957 da Margaret e Geoffrey Burbidge, William Fowler e Fred Hoyle, noti come B^2FH, ed è ancora in grandissima parte valida. Unico inconveniente era che l'abbondanza di elio prodotta durante tutta la vita della Galassia rappresentava appena il 2 o 3% invece del 27 o 28% indicato dalle osservazioni. I processi indicati da B^2FH erano il protone-protone e il ciclo CNO (carbonio, azoto, ossigeno) che davano luogo a formazione di elio a temperature comprese fra 5 e 40 milioni di gradi, che si incontrano nelle stelle non ancora evolute. La trasformazione di idrogeno in elio che avviene nell'interno ne modifica la stuttura facendo aumentare la temperatura e densità interne. Quando è raggiunta la temperatura di un centinaio di milioni di gradi il nucleo di elio (o particella α) può aggregare altre particelle α dando così origine ai nuclei di carbonio, ossigeno, neon ecc. fino all'isotopo di peso atomico 48 del titanio. Sempre alle stesse temperature si formano i nuclei leggeri non multipli di 4 e quelli più pesanti del ferro e nichel aggregandosi un neutrone ed emettendo subito un elettrone. Così il peso atomico aumenta di un'unità e il numero atomico (rappresentato dalla carica positiva del nucleo) aumenta pure di un'unità. A temperature ancora più alte — miliardi di gradi — quali si raggiungono solo in stelle di massa da 5 o più volte quella del Sole, e che si avviano a una fine esplosiva come supernovae, avvengono altri processi. Uno è quello che porta alla formazione degli elementi più stabili — gruppo del ferro — in cui un nucleo cattura un protone o un neutrone o una particella α, emettendo radiazione γ e, viceversa, colpito da radiazione γ emette un protone o un neutrone o una particella α. L'altro si può verificare con una cattura rapida di neutroni, prima che venga riemesso un elettrone, oppure con la cattura di protoni da parte di nuclei pesanti. Si spiega così la formazione degli isotopi degli elementi più pesanti del ferro e del nichel.

Sebbene tutti questi processi spieghino la formazione di elio e poi di tutti gli elementi più pesanti del boro, non spiegano la formazione degli elementi leggeri litio, berillio e boro, nonché degli isotopi dell'idrogeno e dell'elio, i quali vengono distrutti nelle reazioni idrogeno-elio già a temperature inferiori a circa 4 milioni di gradi. B^2FH hanno allora proposto un altro processo detto di frammentazione, secondo cui questi elementi sarebbero il risultato della rottura di nuclei di elementi abbondanti, come carbonio o ossigeno, presenti nel mezzo interstellare, quando vengono colpiti da raggi cosmici.

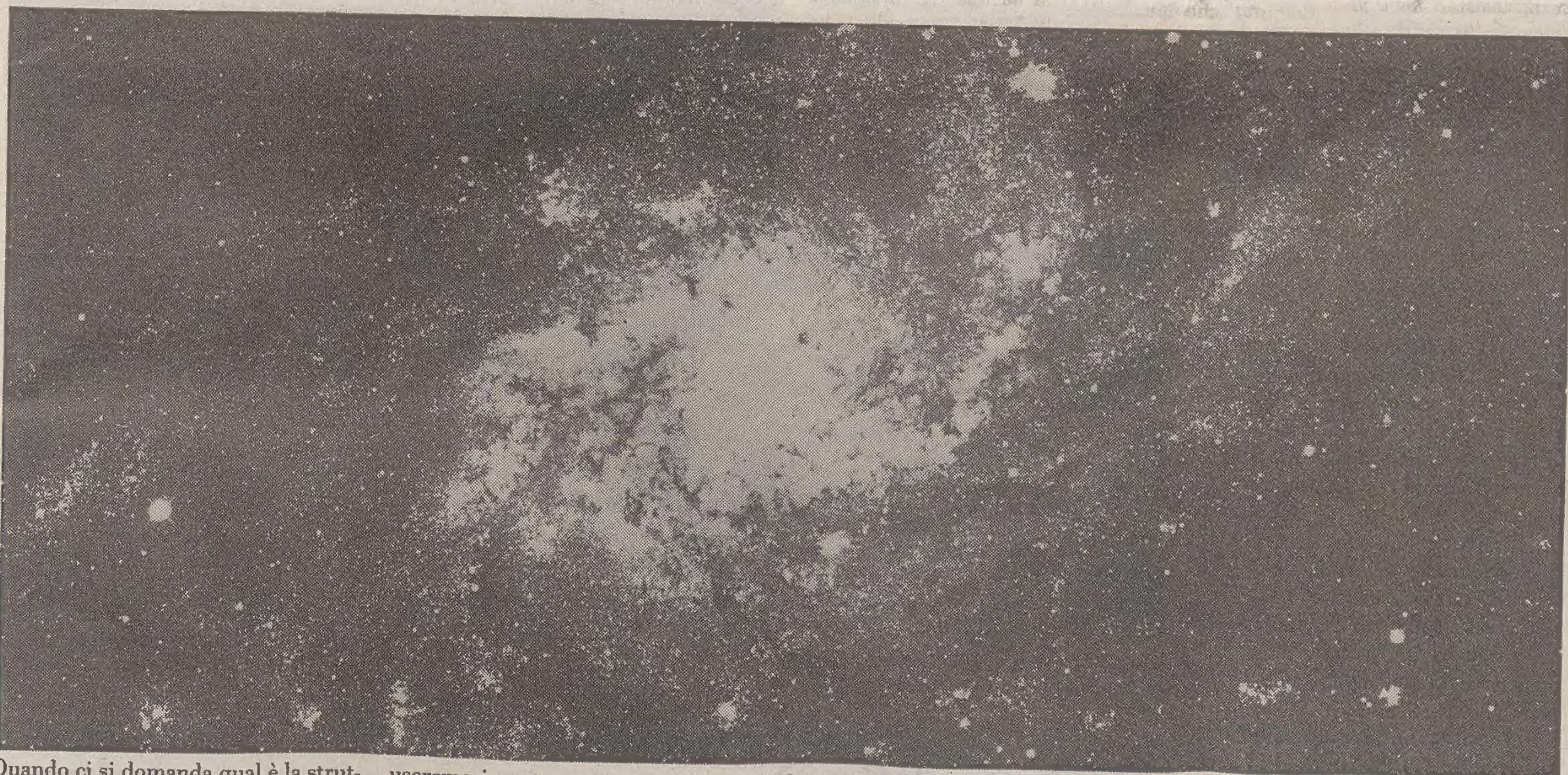
Ma restava sempre da spiegare l'abbondanza dell'elio. B^2FH non ammettevano la nucleosintesi primordiale in quanto non accettavano l'ipotesi del Big Bang. Con la scoperta della radiazione fossile a 3°K, avvenuta nel 1965 e predetta nel 1948 da Gamow, fu possibile stabilire che l'Universo primordiale, a un'età inferiore ai 180 secondi, aveva una temperatura troppo alta per poter avere dei nuclei stabili, mentre a un'età superiore ai 700 secondi l'aveva troppo bassa per permettere la formazione di nuclei di elio. Però fra 180 e 700 secondi si calcola che si deve essere formato deuterio, l'isotopo leggero dell'elio (o elio 3) e elio 4, più una piccola percentuale di litio, in quantità in ottimo accordo con le osservazioni. Così tanto l'ipotesi di von Weizacker che quella di Gamow risultavano parzialmente vere.

Quindi, oggi siamo in grado di spiegare sia la formazione di tutti gli elementi a partire dal protone sia perché gli elementi pesanti sono più abbondanti nelle stelle giovani, formatesi da materiale arricchito dai prodotti delle reazioni nucleari avvenute nelle stelle delle generazioni precedenti e da loro espulso negli spazi interstellari durante le convulse e catastrofiche fasi finali della loro vita.

Caosmos

Alberto Masani, astrofisico, Università di Torino

L'universo è essenzialmente disordinato, ma non per questo imprevedibile. È possibile, infatti, descrivere le caratteristiche evolutive cosmiche con un modello teorico, anche se attualmente non ne esiste nessuno completamente soddisfacente.



Quando ci si domanda qual è la struttura dell'Universo, ci si riferisce sia agli aspetti osservativi sia alle teorie che li interpretano, perché quei dati acquistano una portata cosmologica proprio in base alla teoria che li spiega (mentre per un'altra ne hanno una assai inferiore o addirittura nulla). Uno di questi dati è la radiazione di 3°K che per la teoria detta Big Bang costituisce il dato osservativo di significato cosmologico più importante; per la teoria detta dello Stato Stazionario, invece, è un fenomeno secondario provocato da radiazione connessa a fenomeni di «little bangs» (piccoli scoppi) che hanno luogo in seno al processo espansivo cosmico di tipo stazionario. Quest'ultima teoria, recentemente rielaborata da Hoyle, Burbidge, Narlikar, Arp, Wickramasinghe, e presentata con la sigla QSSC (Quasi Steady State Cosmology) non appare comunque formulata in termini sufficientemente persuasivi da competere con la teoria Big Bang. Esamineremo pertanto quest'ultima che vuole la radiazione di 3°K costituire, oltre il dato che sanziona la validità della teoria stessa, anche il dato che mostra il disordine (l'entropia) in cui l'Universo si trova.

L'entropia è una parola di significato scientificamente ben preciso che può essere assimilato a ciò che comunemente si indica come disordine; la useremo in questo senso sottolineando che essa implica mancanza delle «differenze» le quali danno un senso all'evidenza delle «specificazioni» e quindi delle «strutture» e in definitiva all'ordine. Gli stati di totale uniformità sono entropici, proprio nel senso di assenza di differenze; hanno anche il carattere della massima stabilità nel senso che una volta raggiunto un tale stato non si verificano mai, spontaneamente, delle differenze interne al sistema se esso rimane isolato da ogni influenza esterna.

La radiazione di 3°K è particolarmente entropica perché è in equilibrio con un grado di isotropia estremamente elevato e rappresenta il disordine che caratterizza l'Universo. Il quale non è costituito solo da radiazione ma anche da atomi che ne rappresentano la fase materiale; a tale fase si devono le strutture differenziate cosmiche (stelle, galassie, ammassi di galassie) le quali rappresentano quindi l'ordine. Si pone allora la domanda: l'Universo è più disordinato (nella radiazione di 3°K) o ordinato (nella fase materiale)? Per rispondere occorre dare un criterio di valutazione che quantifichi il disordine e l'ordine. È possibile farlo calcolando il rapporto fra il numero di costituenti elementari della radiazione (i fotoni) e il numero di quelli della materia (i protoni) contenuti in un volume, ad esempio 1 cm^3. L'Universo ha circa 1 miliardo di volte più fotoni che protoni per cui è essenzialmente disordinato.

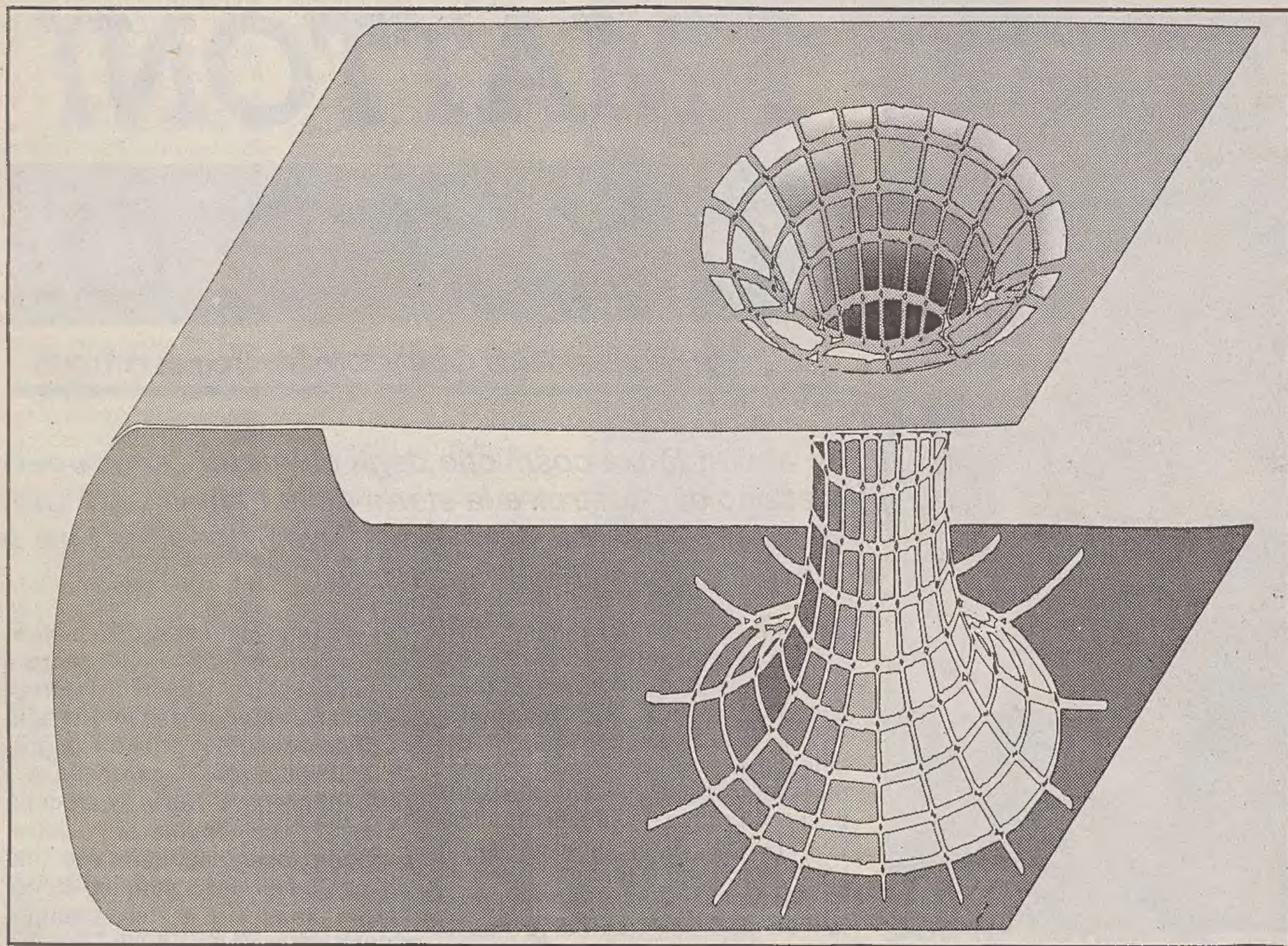
La teoria Big Bang implica che l'Universo è evolutivo e che la situazione attuale è ben diversa da quelle passate. Allora: l'Universo attuale è così disordinato per effetto della sua evoluzione? era più ordinato o disordinato prima? come sarà in futuro? La risposta è fornita dalla teoria stessa ed è semplice. Pure essendo la radiazione e la materia in stati assai diversi prima (e dopo) di ora, il rapporto tra fotoni e protoni non cambia nel tempo: l'Universo è stato sempre essenzialmente in uno stato disordinato nella stessa misura odierna e lo sarà per lungo tempo ancora (a partire da tempi estremamente lunghi lo sarà di più per effetto dell'evoluzione gravitazionale della materia).

Esaminiamo adesso il criterio della prevedibilità del comportamento generale cosmico nel suo insieme, materiale e elettromagnetico (radiazione), per chiarire che disordine non vuol dire caoticità in quanto imprevedibilità. Il fatto di non poter dare oggi una chiara e definitiva risposta alla domanda: quale modello teorico rappresenta veramente l'Universo, non vuol dire che esso sia imprevedibile e non c'è dubbio che, col progredire degli studi, scopriremo il modello teorico che prescrive veramente le caratteristiche generali ed evolutive del cosmo.

Un importante capitolo di ricerca, che viene inserito in quello più vasto della prevedibilità dei sistemi complessi, è lo studio del comportamento temporale dei componenti cosmici materiali; si può prevedere con precisione l'iter evolutivo di una buona parte di essi. La teoria della struttura interna e dell'evoluzione delle stelle, ad esempio, ha conseguito un livello di alta affidabilità e oggi possiamo fare ottime previsioni su come evolvono le stelle fino alla loro fase finale; meno sicura è la teoria della formazione delle galassie.

Un certo grado di imprevedibilità si deve ammettere invece nelle strutture il cui comportamento è regolato dall'aspetto strettamente meccanico, ma solo se si pretende una prevedibilità a lunghissimi intervalli di tempo, specie nel futuro. Il passato, tutto sommato, non rappresenta un intervallo di tempo astronomicamente grande. Se ci si riferisce ai sistemi meccanici regolati dalla legge di Newton, nel caso ideale di due corpi gravitanti il sistema è intrisecamente prevedibile e ogni imprevedibilità è relativa solo alla eventuale imprecisione dei dati iniziali. Il caso, p[illegible] ideale, di tre corpi è

continua a pagina 4



Un *wormhole* collega due regioni distanti nello stesso Universo.

Inferno e gravità

Renato Giovannoli, autore di testi sulla fantascienza

Un confronto tra la struttura dell'Inferno dantesco e la struttura dei buchi neri porta a riconoscere molte analogie formali e una differenza essenziale fra la cosmologia dantesca e quella della scienza e della fantascienza relativistiche.

La teoria della relatività ha ricondotto per certi versi la cosmologia su posizioni vicine a quelle della cosmologia medievale (e comunque ben lontane da quelle della cosmologia moderna, prima cartesiana e poi newtoniana). Nella cosmologia relativistica l'universo, da eterno, torna ad avere un inizio (*big bang*) e un riassorbimento (*big crunch*): una Genesi e un'Apocalisse. Mentre lo spazio stesso cessa di essere infinito, perché, dal momento che la teoria einsteiniana permette che esso si curvi per effetto della gravità, potrebbe essere incurvato fino a ricongiungersi con se stesso e a formare la superficie di uno sferoide a quattro dimensioni. L'inferno di Dante, in particolare, presenta una forte analogia con il concetto di buco nero (o *singolarità spaziotemporale*) della cosmologia relativistica.

Occorre precisare che Dante non si serve di una teoria gravitazionale in senso moderno, ma della teoria dei "luoghi naturali", il principio aristotelico secondo il quale "ogni elemento si muove verso la sua sfera" (*Fis.* IV, 1, 208b 10): una pietra non cade perché è attratta da un oggetto di massa maggiore, ma perché va al suo luogo naturale, cioè in basso. Tuttavia, per Dante il "luogo naturale" del mondo corporeo è Lucifero, che a causa del peso del suo peccato è in pratica l'oggetto di massa maggiore. E, in realtà, la dottrina dei luoghi naturali può anche non essere incompatibile con la teoria gravitazionale. Non si dice negli ambienti scientifici che non è escluso che il nostro universo sia inghiottito alla fine da un'unica singolarità?

Ma, accennando al fatto che Lucifero è trascinato nel "fondo di tutto l'universo" *(Inferno* XXXII, 8) "... il più basso loco e 'l più oscuro/ e 'l più lontan dal ciel che tutto gira" (X, 28-29) dal "carco" (XXVII, 136) del suo peccato, sono passato dalla considerazione del significato letterale della Commedia (a questo livello si situa la fisica dantesca) a quella del significato "morale". Infatti alla teoria "gravitazionale" nella *Commedia* corrisponde una dottrina del peccato identificato alla gravità. Simone Weil, la cui intera opera è una meditazione sulla gravità, ha scritto che "due forze regnano nell'universo, luce e gravità". Dal punto di vista morale: la grazia e il peccato. Questa dualità corrisponde a quella più nota che oppone luce e tenebre: è naturale che nell'angelologia patristica e nell'universo di Dante (proprio come nei buchi neri) ciò che è più basso e pesante sia anche più oscuro. Ed eccoci al confronto esplicito tra buchi neri e Inferno dantesco.

Un buco nero è un corpo di densità e massa virtualmente infinite che esercita una forza gravitazionale immensa, capace di vincere anche la luce (questo il motivo della sua nerezza). Il punto più basso dell'Inferno, occupato da Lucifero, è il più oscuro e pesante dell'universo e un vero centro di gravità: il punto "al qual si traggon d'ogne parte i pesi" (XXXIV, 111), "lo mezzo/ al quale ogne gravezza si rauna" (XXXII, 73-74), "il tristo buco/ sovra 'l qual pontan tutte l'altre rocce" (XXXII, 2-3). In presenza di un buco nero lo spazio elastico della teoria generale della relatività assume una curvatura "infinita", cioè la forma di un cono cuspidale: il vertice del cono è la singolarità, il buco nero. È di fatto la forma dell'Inferno, forma che la superficie della Terra ha assunto per la sola presenza di Lucifero (XXXIV, 125: il principe dei demòni è collocato nel vertice del conico baratro). Un abisso a forma di cuspide è sempre più ripido man mano che si scende verso il basso. L'Inferno di Dante non ha, a dire il vero, pareti curvilinee; tuttavia, anche se in maniera non continua, sembra che l'ampiezza della voragine in cui è collocato, misurata idealmente in gradi angolari, diminuisca bruscamente in certi punti critici della sua struttura geometrico-morale (a ognuno dei quali corrisponde un incremento di ripidità: in prossimità di Lucifero le pareti sono pressoché verticali). L'Inferno di Dante, insomma, approssima una cuspide così come un poligono approssima un cerchio.

Un'altra caratteristica saliente dei buchi neri è che essi sono circondati da un "orizzonte degli eventi" che delimita il loro campo d'azione: qualsiasi entità fisica che lo attraversi viene attratta dal buco nero senza possibilità di sfuggirgli. Questo "orizzonte" include buona parte della base del cono cuspidale, ed è notevole che sia stato un astrofisico, Stephen Hawking, ad affermare che "si potrebbero ben dire dell'orizzonte degli eventi le parole che Dante vide scritte sopra le porte dell'Inferno: 'Lasciate ogni speranza, voi ch'intrate' (III, 9)".

Scendendo verso il fondo dell'Inferno, inoltre, diventa più "densa" la sua topografia: i cerchi inferiori si dividono in gironi o bolge. Un simbolismo analogo, ma trasposto dall'ambito spaziale a quello temporale, è quello dell'intensificarsi degli eventi alla fine dei tempi che troviamo nell'Apocalisse. Come ha scritto Sergio Quinzio, "il processo della rivelazione apocalittica consiste in un'intensificazione finale, corrispondente alla intensificazione degli avvenimenti". I termini in cui Quinzio descrive "l'orrore crescente della storia del mondo" potrebbero facilmente adattarsi al moltiplicarsi di gironi che esprime l'orrore crescente dell'Inferno di Dante. Anche questo presuppone un movimento di "caduta" — si pensi alla "caduta" di Lucifero (*Isaia* XIV, 12; *Luca* X, 18) e a quella dell'umanità e della natura stessa in Adamo — verso il "polo sostanziale, materiale" del cosmo.

Per finire, un'ultima somiglianza tra l'Inferno e un buco nero. La curvatura "infinita" che lo spaziotempo assume al vertice di un cono cuspidale modellato da una singolarità, equivale a una sorta di lacerazione, di vero buco nel tessuto spaziotemporale. È per questo che a certe condizioni puramente teoriche sarebbe possibile entrare in un buco nero e riemergere in un'altra regione dell'universo. Si tratta dei "ponti di Einstein-Rosen", detti anche *wormholes*, da confrontare con la "natural burella" (XXXIV, 98) attraverso la quale Dante, nonostante l'Inferno abbia un "orizzonte degli eventi", può uscire "a riveder le stelle". E a proposito della strana espressione *wormhole*, letteralmente "buco di verme", rammento che Lucifero è definito "il vermo reo che 'l mondo fora" (XXXIV, 108).

Voglio dire con tutto ciò che Dante è uno scrittore di fantascienza? No, perché se una certa analogia tra il suo inferno e i buchi neri pare innegabile, tra la totalità della sua opera e la cosmologia relativistica resta una differenza profonda. La *Commedia* parla anche, e soprattutto, del Purgatorio e del Paradiso, e sovrappone al senso letterale sensi morali e metafisici; la cosmologia contemporanea, con la fantascienza che ne dipende, considera invece soltanto il mondo strettamente materiale, e riduce, in definitiva, il cosmo all'Inferno.

BUCHI NERI

Jean-Pierre Luminet, astrofisico, Osservatorio di Paris Meudon

I buchi neri, le primule rosse del cosmo, fino a poco tempo fa erano considerati una pura curiosità matematica; oggi sono diventati un problema fisico fondamentale.

In un racconto persiano, le farfalle, tormentate dal desiderio di comprendere il mistero della fiamma, si riuniscono in assemblea. Una prima farfalla si offre come volontaria per andare in avanscoperta. Al suo ritorno racconta che da una finestra ha visto la luce di una candela. La farfalla saggia che presiede l'assemblea osserva però che questa informazione non aggiunge niente alle loro conoscenze. Un'altra farfalla prende il volo e non teme di avvicinarsi alla candela fino a toccarla. Torna bruciacchiata, ma anche questa volta non basta. Una terza farfalla si lancia con entusiasmo nella fiamma e si brucia completamente. Allora la farfalla saggia dice: «Lei ha scoperto quello che voleva, ma non lo può più raccontare a nessuno».

La ricerca dei buchi neri ha delle affinità con questa favola. Già da due secoli si ritiene che possano esistere dei corpi celesti così densi e massicci da imprigionare la loro stessa luce e quindi essere invisibili. I buchi neri sono innanzitutto degli oggetti teorici, i cui padri spirituali sono gli specialisti della relatività generale. C'è qualcosa di affascinante nell'inverosimile compattezza della materia richiesta per formare un buco nero. Il Sole dovrebbe essere ridotto a una sfera di 3 km (mentre il suo raggio reale è di 700 000 km), oppure la Terra a una minuscola biglia di 1 cm. Né il Sole né la Terra incontreranno mai questo destino, ma secondo gli astrofisici il collasso gravitazionale di stelle di grande massa porterebbe ineluttabilmente la materia a concentrarsi in un buco nero.

Secondo la relatività generale, la gravitazione si descrive con una geometria «curva», che determina anche le traiettorie permesse alle particelle e ai raggi luminosi costringendoli a seguirne i contorni, in maniera analoga a un tessuto elastico incavato da corpi materiali solidi la cui trama sarebbe tessuta dalla luce. La teoria associa a tutti i corpi sferici un raggio critico: se il corpo viene confinato entro questo raggio, il suo campo gravitazionale diventa tanto intenso che niente può sfuggirgli. Qualunque oggetto che si avvicina al raggio critico, tende a precipitare verso il centro del buco. Oltre il raggio critico, non c'è via d'uscita, anche se si disponesse di un'energia illimitata. La «pelle» di un buco nero (orizzonte) è una frontiera dello spaziotempo al di là della quale non possiamo percepire nulla. L'unico modo per esplorarne l'interno sarebbe di farsi inghiottire. Ma a quale prezzo! come la farfalla curiosa, non potremmo mai più uscire per riferire le nostre scoperte.

Dall'esterno, un buco nero è un oggetto assolutamente semplice. Questa semplicità è tanto più disarmante se si pensa che un buco nero può contenere i corpi più diversi: stelle, pianeti, asteroidi. Può finirci dentro un'intera civiltà, senza che ne rimanga la minima traccia. Esiste inoltre tutta una fauna di buchi neri formatisi non dal collasso gravitazionale di astri di grande massa, bensì per condensazione — avvenuta durante i primi momenti di vita dell'Universo — di grumi all'interno della pasta primordiale: mini buchi neri del peso di una tonnellata che evaporano in dieci miliardesimi di secondo; buchi neri di massa pari a quella di una montagna, ma di dimensioni pari a quelle di una particella elementare che potrebbero sopravvivere per quindici miliardi di anni, l'età che si calcola abbia il nostro universo; buchi neri galattici che vivranno interi eoni...

L'irresistibile tendenza alla simmetria ha condotto all'invenzione dei buchi bianchi, o fontane bianche, che, invece di inghiottire materia, la espellono. Si ha allora nello stesso spaziotempo un buco bianco e un buco nero, arbitrariamente distanti l'uno dall'altro, ma collegati attraverso un tubo allungato, detto *wormhole*. Questa ipotesi ha ispirato stravaganti viaggi spaziotemporali: magari sarebbe possibile immergersi in un buco nero, attraversare il *wormhole* e uscire dal buco bianco in una zona remota del nostro Universo o in un Universo parallelo.

Solo di recente i buchi neri sono passati dallo status di curiosità matematica a quello di problema astrofisico fondamentale, quando le furie del cielo (sorgenti di raggi X, radiogalassie, quasar) sono venute a bussare alla finestra dei nuovi strumenti d'osservazione. Gli astronomi scrutano il cielo alla ricerca di queste primule rosse del cosmo. Siccome non emettono radiazione, l'unica speranza di scoprire la loro presenza sta nel rilevare l'effetto della loro intensa attrazione gravitazionale su altri corpi celesti. Nei centri di alcune galassie, ad esempio, è stata rilevata la presenza di masse enormi confinate in un volume molto ristretto. Forse buchi neri giganti. Buchi neri più vicini e di dimensioni più modeste si trovano probabilmente anche nella nostra Galassia. Questa convinzione si basa sullo studio di sorgenti di raggi X, interpretate come stelle doppie di cui una, estremamente compatta, risucchia l'inviluppo della compagna.

Malgrado questi indizi spettacolari, lo statuto osservazionale dei buchi neri è ancora provvisorio. Se i prossimi decenni non confermeranno la loro esistenza, permarranno comunque nella memoria culturale umana per la loro superba bellezza teorica. E il grande fascino che esercitano — sia sul pubblico sia sui fisici — non proviene forse da questa idea un po' antropomorfa di un viaggio senza ritorno verso un indicibile abisso ove si perde qualsiasi identità?

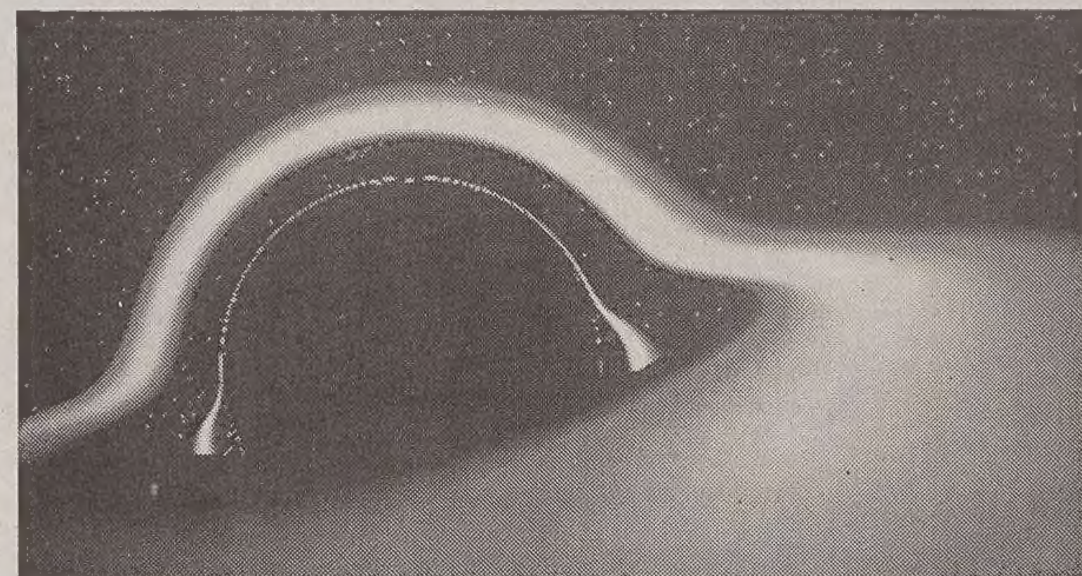


Immagine simulata al calcolatore da J. P. Luminet di come apparirebbe un buco nero da un'astronave in avvicinamento.

ECO

Notizie dalla stampa scientifica

I segreti della Via Lattea

La nostra Galassia è circondata da un alone invisibile. Alcuni pensano che siano buchi neri di massa milioni di volte la massa del Sole. Secondo altri, però, se questi buchi neri esistessero dovrebbero cadere nel centro della Galassia e formare un altro buco nero enorme («New Scientist» 5-12-92, p. 16). Il buco nero al centro della nostra Galassia, invece, sembra essere piccolo, molto più piccolo di quanto creduto finora, circa 500 volte la massa del Sole invece di un milione («New Scientist» 28-11-92, p. 15). Quindi, concludono, la materia oscura nell'alone non è formata di buchi neri, ma di altro (particelle, comete, asteroidi, pianeti, stelle nane, stelle di neutroni,...).

L'età dell'Universo

J. Hoell e W. Priester dell'Università di Bonn dallo spettro delle quasar hanno dedotto la presenza di nubi di idrogeno nelle galassie tra noi e le quasar distribuite su gigantesche bolle, la cui formazione si può spiegare soltanto se l'Universo si è espanso lentamente. Si calcola così che l'età dell'Universo dovrebbe essere circa 30 miliardi di anni («New Scientist», 4-1-92). Un risultato simile viene da un nuovo calcolo della costante di Hubble: è noto che se la costante di Hubble è grande l'Universo è giovane, se è piccola l'Universo è vecchio. A. Sandage e collaboratori hanno calcolato che la costante di Hubble dovrebbe essere 45 km per secondo e per megaparsec che corrisponde a un Universo di circa 20 miliardi di anni. Il risultato è comunque piuttosto controverso («New Scientist», 18-7-92, p. 16). Una costante di Hubble di appena 37 km al secondo per megaparsec viene dallo studio di una quasar lontana 12 miliardi di anni luce. L'immagine della quasar appare sdoppiata per effetto di lente gravitazionale. Gli astronomi hanno calcolato la costante di Hubble dalla differenza di tempo di arrivo dei segnali relativi alle due immagini e dal confronto con il modello teorico di lente gravitazionale («New Scientist», 16-11-1991).

Una supernova cruciale

È stata scoperta recentemente la supernova più lontana mai osservata (5 miliardi di anni luce). Grazie alla sua enorme distanza, potrà forse essere usata per determinare se l'Universo si espanderà per sempre o se incontrerà una fase di contrazione su se stesso («Nature», 3-12-92, p. 413).

L'Universo secondo COBE

La materia oscura è circa il 95% della massa dell'Universo, ma nessuno sa bene cosa sia. Sembra ora che circa il 25% della materia oscura sia «calda» (cioè formata dal big bang a velocità prossima a quella della luce) e il 75% «fredda» (cioè emersa lentamente dal big bang). Questa composizione, che concilia le due ipotesi in conflitto (materia oscura calda e materia oscura fredda), sarebbe anche in accordo con la scoperta del satellite COBE nel 1992 che la radiazione di fondo a 3K non è omogenea, ma presenta delle asperità; sarebbero proprio queste che secondo la teoria del big bang inflazionario sarebbero all'origine della distribuzione attuale delle galassie («New Scientist» 24-10-92, p. 16).

Questo modello è confermato anche da osservazioni della radiazione gravitazionale prodotta nella prima frazione di secondo di vita dell'Universo («New Scientist» 14-11-92, p. 15) che spiegherebbero alcuni dettagli della attuale distribuzione delle galassie.

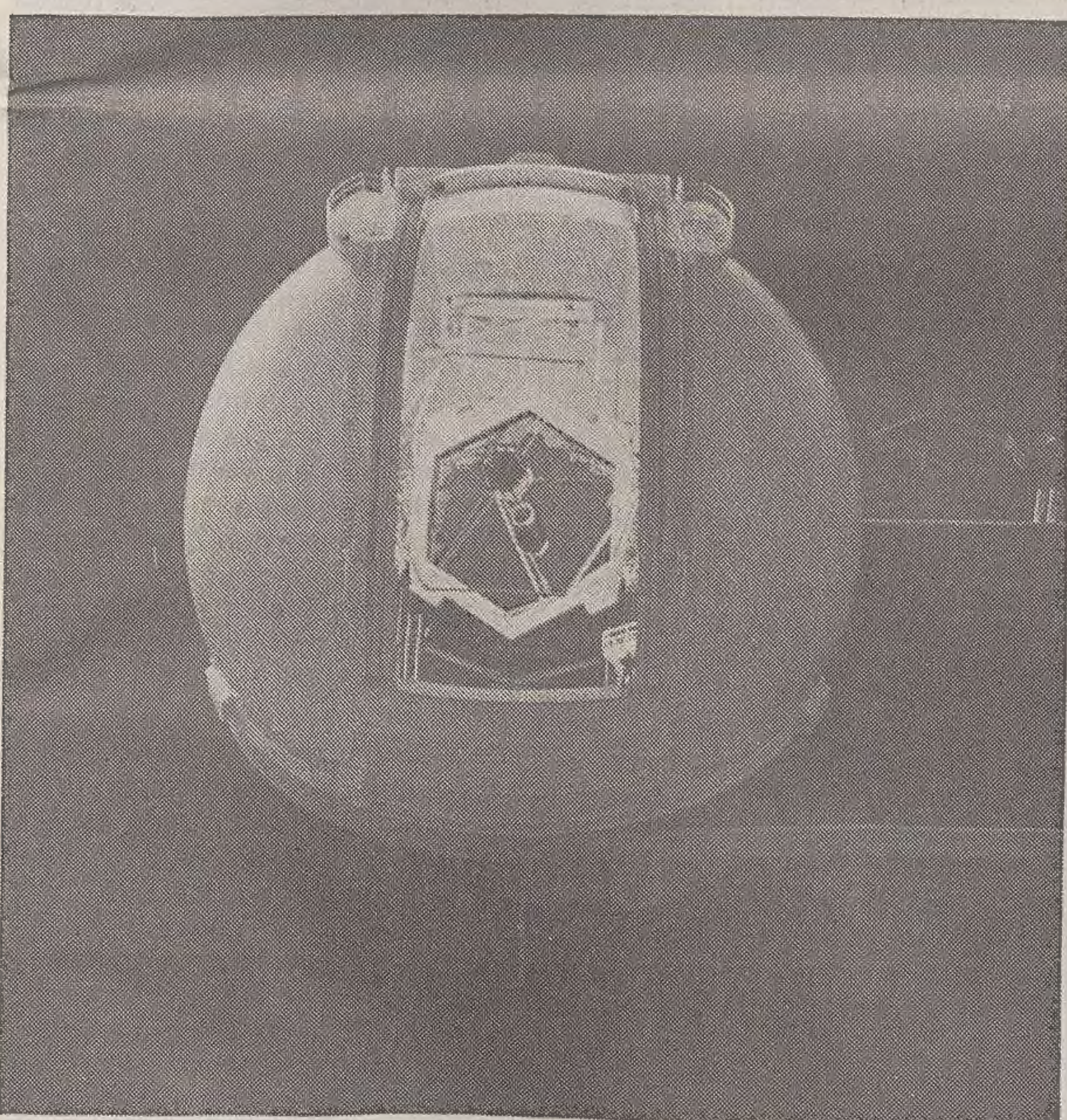
Sempre più lontano...

Mauro Messerotti, astrofisico, Osservatorio Astronomico, Trieste

Grandi sono le difficoltà tecniche che ostacolano l'indagine dell'Universo a distanze sempre maggiori. Oggi molte di queste sono state superate dagli strumenti più moderni: lo Hubble Space Telescope e il telescopio Keck.

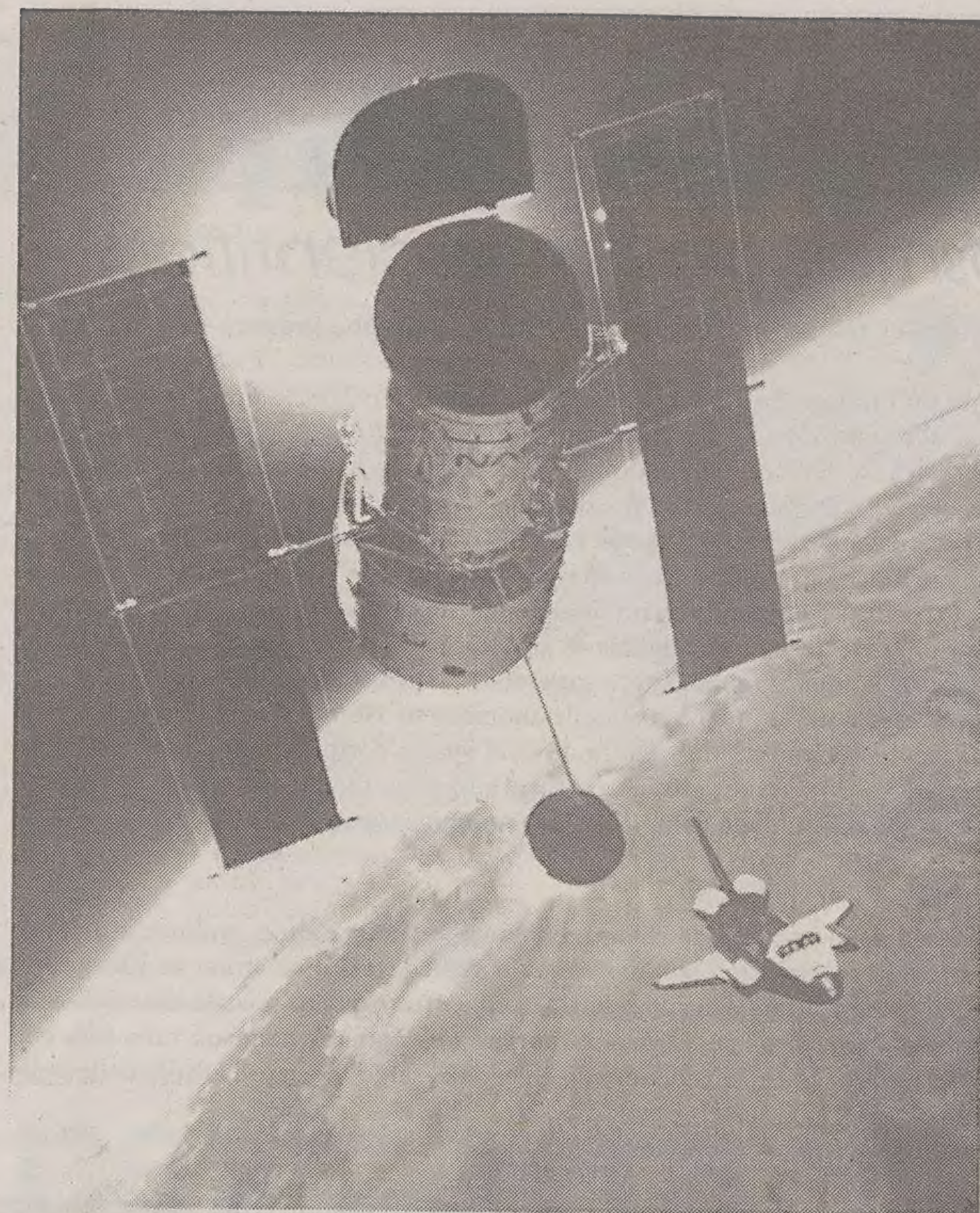
Gli oggetti che popolano l'Universo sono innumerevoli ma possono venire raggruppati in alcune grandi categorie in base alle loro caratteristiche morfologiche, fisiche e associative: stelle ed eventuali altri sistemi solari, ammassi stellari, galassie, ammassi e superammassi di galassie. Questa gerarchia associativa rispecchia la distribuzione della materia nello spazio a diverse scale di dimensione ed è strettamente legata ai processi fisici da cui l'Universo ha avuto origine. Nell'arduo ma irrinunciabile tentativo di costruire un modello teorico globale che spieghi la natura dei fenomeni e degli oggetti osservati, l'astrofisico incontra notevoli difficoltà operative dovute alle pesanti limitazioni imposte dalla tecnologia costruttiva degli strumenti di osservazione e alla scarsità di siti terrestri favorevoli alle osservazioni stesse. In realtà le caratteristiche qualitative oggi richieste sono molto elevate anche in virtù dei notevoli progressi effettuati nel campo delle interpretazioni teoriche.

Un qualsiasi sistema fisico, per esempio un pianeta con la sua atmosfera oppure una coppia di stelle che si scambiano massa o ancora il nucleo attivo di una galassia probabile sede di un buco nero massiccio, emette fotoni in alcune bande dello spettro elettromagnetico ed eventualmente particelle. Le distanze che separano l'osservatore terrestre dagli oggetti di interesse variano da un minimo di 380000 km per la Luna a 21 miliardi di miliardi di km per la galassia di Andromeda, la più vicina alla nostra, a 151000 miliardi di miliardi di km per il limite dell'Universo osservabile. Studiare questi oggetti significa analizzare le informazioni trasportate dai fotoni; il loro numero (intensità della radiazione), la loro lunghezza d'onda equivalente (= colore — e quindi energia — della radiazione), la loro distribuzione in direzione (mappa delle zone di emissione) e le eventuali variazioni di queste caratteristiche nel tempo forniscono indicazioni sulla struttura dell'oggetto e sui fenomeni che lo interessano. È quindi un'esigenza fondamentale poter osservare tutti i fotoni emessi dall'oggetto nelle diverse bande dello spettro (sensibilità e risoluzione spettrale). Se l'oggetto è molto debole, il flusso di fotoni è molto ridotto e bisogna perciò raccoglierne il maggior numero possibile (luminosità). Se, invece, l'oggetto è esteso e molto distante, per studiarne la struttura dobbiamo poter distinguere dei particolari molto vicini tra di loro rispetto alla distanza stessa (potere risolutivo). L'atmosfera terrestre è un ulteriore fattore di distrubo che impone i valori limite massimi ottenibili anche con gli strumenti più avanzati. Infatti essa assorbe tutte le bande energetiche dello spettro (raggi gamma, X, ultravioletti, parte degli infrarossi) ed è trasparente solo alla radiazione visibile, la cosiddetta «finestra ottica» che va dal violetto al rosso, e parte delle onde radio. L'atmosfera è, inoltre, un mezzo fortemente turbolento che si comporta come una lente a indice di rifrazione variabile da punto a punto e istante per istante in modo difficilmente prevedibile. Ci rendiamo conto di questo se osserviamo il cielo stellato in una notte ventosa, quando le stelle luccicano: tale scintillio compromette fortemente le osservazioni astronomiche, perché riduce fino ad annullarlo il potere risolutivo dello strumento. Quindi da Terra non si può avere un quadro completo dell'emissione elettromagnetica dell'oggetto.



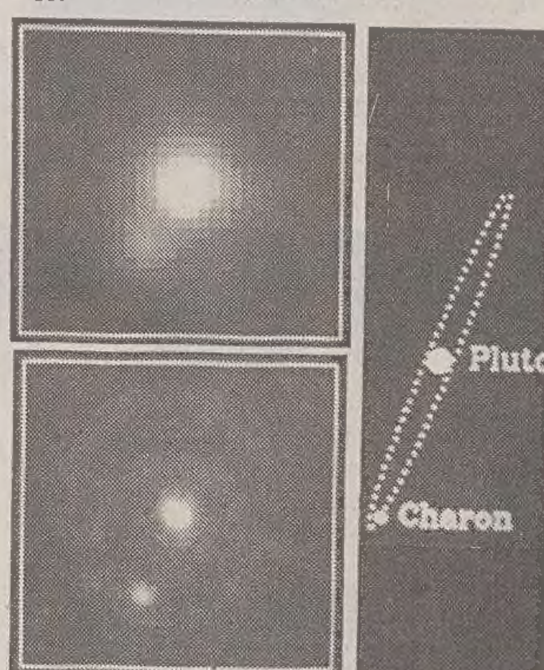
Il telescopio Keck di 10 metri, il più grande del mondo. È composto da 36 piccoli specchi esagonali sistemati in modo da formarne uno solo.

Per raccogliere una maggior quantità di fotoni serve una superficie captante tanto più grande quanto più debole è l'oggetto e quanto maggiore deve essere il potere risolutivo, ma non è possibile superare certe dimensioni fisiche dettate dai materiali e dalle tecnologie attuali. Un modo radicale, anche se complesso e costoso, di risolvere quasi tutti i problemi consiste nell'utilizare un telescopio spaziale orbitante, che si trovi al di fuori dell'atmosfera terrestre. Uno strumento di questa categoria è lo Hubble Space Telescope (HST), un telescopio a specchio da 2,4 metri di diametro collocato in orbita a 610 km di altezza nel 1990 nel corso di una missione Shuttle. Dotato di una serie di strumenti per osservazioni diverse, come la camera a grande campo, quella per oggetti deboli e due spettrografi ad alta risoluzione, HST consentirebbe di raggiungere il potere risolutivo teorico dello strumento, cioè fornire immagini dieci volte più nitide di quelle ottenibili da uno strumento analogo operante a Terra. Sfortunatamente un errore infinitesimo nella lavorazione dello specchio principale (2 micron di differenza tra il centro e il bordo rispetto alla curvatura voluta), identificato solo quando lo strumento era già nello spazio, non consente di raggiungere i valori teorici. Ciononostante le immagini possono venir corrette a Terra tramite elaborazioni al computer e i risultati ottenuti per molti oggetti osservati sono comunque superiori alle migliori immagini ottenibili a Terra (come si può vedere nell'immagine che rappresenta il pianeta Plutone e la sua luna Caronte). È in progetto una missione Shuttle per por rimedio al problema in modo da consentire ad HST di raggiungere le *performance* originarie, che potrebbero darci una nuova immagine dell'Universo.



Lo Hubble Space Telescope in orbita intorno alla Terra (NASA).

Anche da terra comunque si possono effettuare osservazioni di alta qualità impiegando nuove tecnologie costruttive e di funzionamento. Un esempio di telescopio ad alte prestazioni di nuova generazione è il telescopio Keck, situato sulla cima del Mauna Kea, nelle isole Hawaii, a 4000 metri di altezza e reso operativo nel 1992. La peculiarità di questo strumento è lo specchio principale, costituito da 36 specchi esagonali accostati che danno origine a un'apertura equivalente di 9,8 m, facendo del Keck il più grande telescopio del mondo, con una capacità di raccogliere luce quattro volte maggiore dell'ormai storico telescopio di Monte Palomar. In questo caso la difficoltà di costruire un grande specchio da un unico blocco di vetro è stata superata impiegando un insieme di specchi più piccoli, ciascuno dei quali viene orientato in modo da realizzare la curvatura voluta allo specchio complessivo risultante tramite una serie di pistoni e sensori di posizione controllati da computer in tempo reale. Anche questo strumento, non appena pienamente operativo, consentirà di studiare oggetti molto deboli e quindi di spingersi fino all'estremo limite dell'Universo osservabile.



Plutone e la sua luna Caronte, come sono osservabili da terra e da HST

Scienza in città

L'astronomia a Trieste

Dove si studiano a Trieste le stelle e i problemi collegati ai fenomeni celesti? All'Osservatorio Astronomico, al Dipartimento di Astronomia dell'Università, alla Scuola Superiore di Studi Avanzati di Miramare e all'Area di Ricerca di Padriciano dove operano il consorzio CARSO e la sezione locale dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare. Istituzioni diverse ma percorse da numerosi rapporti di collaborazione. All'Osservatorio Astronomico Triestino (OAT), fondato da Maria Teresa nel 1753, spetta la ricezione e la raccolta dei dati delle osservazioni. Ha in città una romantica sede fine secolo, e una succursale sull'altipiano a Basovizza dotata di moderni strumenti di osservazione. L'OAT, che è un nodo importante di ASTRONET, la rete informatica astronomica nazionale, compie svariate ricerche e collabora con altre istituzioni in vari campi: astrofisica, cosmologia e tecnologie avanzate per il rilevamento e l'interpretazione dei dati astronomici da terra e dallo spazio. Oltre a gestire progetti locali, partecipa alla realizzazione del Telescopio Galileo, dei sistemi di controllo a distanza, della strumentazione dei grandi telescopi europei ubicati nell'emisfero australe e, in cooperazione internazionale, al telescopio spaziale SUV.
Il Dipartimento di Astronomia dell'Università effettua ricerche di astrofisica stellare sulla composizione chimica interna delle stelle e sulle stelle binarie. Nel campo della cosmologia, si indaga sulla struttura a grande scala dell'Universo. Nel dominio della fisica spaziale il Dipartimento collabora col laboratorio CARSO e l'Università di Tucson (Arizona) alla preparazione di IEH-UV-STAR, uno degli esperimenti approvati dalla Nasa che effettueranno cinque voli sullo Shuttle.
CARSO, acronimo per *Center for Advanced Research in Space Optics*, è un consorzio tra l'Università di Trieste e le officine Galileo per la ricerca e lo sviluppo nel settore degli strumenti ottici nelle bande dell'ultravioletto e del visibile. Inserito nel comprensorio dell'Area di Ricerca, CARSO opera nei settori dell'astrofisica e dell'elettro-ottica. Le ricerche includono: trattamento di dati da satellite e produzione di software per satelliti, sviluppo e produzione di hardware e di strumenti prototipici, in particolare rivelatori CCD e sistemi di visione in 3-D.
All'Area è attiva anche la sezione locale dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare il cui campo di studio, quello delle particelle elementari, oggi sembra avere interessanti correlazioni con la cosmologia. I risultati provenienti da esperimenti di annichilazione tra particelle elementari effettuate negli acceleratori vengono utilizzati per indagare i processi di formazione e di evoluzione dell'Universo.
L'attività di ricerca del settore di Astrofisica della Scuola Superiore di Studi Avanzati copre varie problematiche inerenti a oggetti extragalattici e alla cosmologia. Molto importanti sono gli studi sulla struttura interna delle galassie, con particolare riferimento alle proprietà della materia oscura, e sulle strutture a grande scala dell'Universo, in particolare sugli ammassi di galassie. Si lavora inoltre sull'ipotesi se la materia oscura, probabilmente costituita da neutrini, decada in fotoni capaci di ionizzare l'idrogeno. Sono in corso esperimenti per la sua verifica, uno di questi viene effettuato in collaborazione con CARSO. Nel dominio dell'astrofisica relativistica le problematiche di maggiore interesse riguardano la crescita delle disomogeneità dell'Universo primordiale, la struttura dello spaziotempo a partire da osservazioni di oggetti molto lontani e l'ipotesi della inesistenza del tempo nella fase iniziale dell'Universo. Altre ricerche infine riguardano gli oggetti collassati (nane bianche, stelle di neutroni e buchi neri) e l'astrofisica dei neutrini con massa.

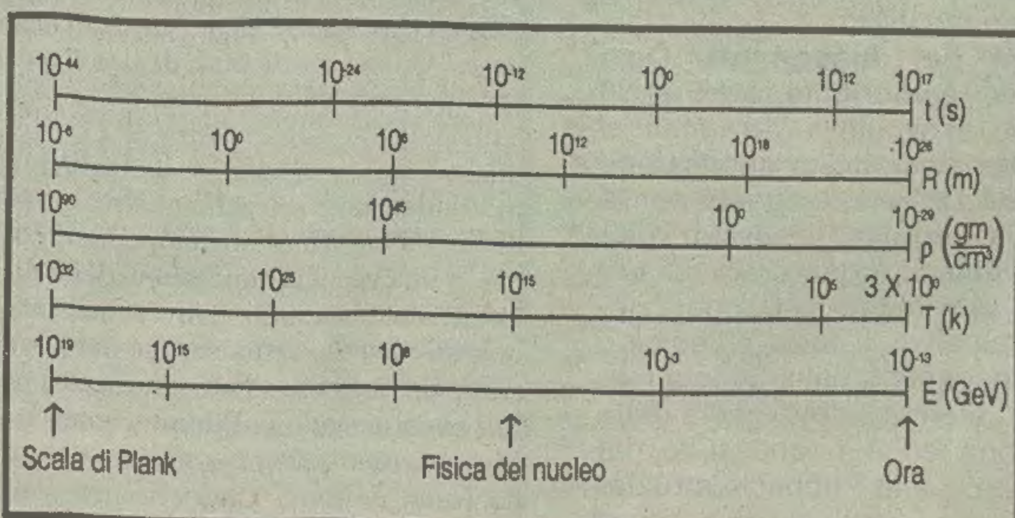
Dimensioni lineari di grandezze rilevanti dell'Universo

Raggio di Hubble dell'Universo *R*	10^{26} m
Supercluster di galassie	10^{24} m
Galassia	10^{21} m
Stelle	10^{9} m
Terra	10^{7} m
Donna-Uomo	10^{0} m
Vita	10^{-6} m
Atomo	10^{-10} m
Nucleo	10^{-14} m
Protone	10^{-15} m
Quark-leptone	$<10^{-19}$ m
?	
?	
Lunghezza di Planck	10^{-35} m

Le scale dell'Universo

Guido Barbiellini Amidei, fisico, Istituto Nazionale Fisica Nucleare, Trieste

Il traguardo ideale per tutte le scienze, e per la fisica in particolare, è quello di descrivere le leggi degli eventi naturali con formule ed equazioni matematiche.
La teoria della misura in fisica insegna come definendo un campione unitario di una grandezza fisica, l'unità di misura, si fa corrispondere a una serie di campioni di una grandezza una serie di numeri. Questi numeri rappresentano quanti campioni unitari si trovano nell'elemento generico di una grandezza.
Ma la matematica è una forma ideale di astrazione logica e può avvenire che certi concetti matematici utili per descrivere con una certa approssimazione la realtà non trovino corrispondenza per tutti i valori degli elementi di una grandezza.
Per esempio il concetto di lunghezza nulla ($l=0$) o di lunghezza infinita ($l=\infty$) sono estrapolazioni naturali dell'associare a ogni lunghezza un numero ma non è detto che ci sia una realtà fisica corrispondente a $l=0$ e $l=\infty$.
Allo stato delle nostre conoscenze in fisica sembra che esistano due valori estremi per il concetto di lunghezza, cioè esiste una lunghezza massima L, al di là della quale nel nostro Universo non esiste la realtà fisica, ed esiste una lunghezza minima l, al di sotto della quale tutte le leggi fisiche a noi note perdono di significato e quindi non esiste realtà predittibile.
La lunghezza massima vale $L=10^{26}$ metri e corrisponde alla dimensione dell'Universo se come molti indizi e misure indicano che sia nato circa quindici miliardi di anni or sono e continua ad espandersi con una velocità nota e un'accelerazione troppo modesta per essere misurata.
Nella tabella a lato sono riportate le lunghezze di maggior interesse e comprese tra i due estremi l, L.
L'estremo inferiore delle lunghezze l è anche legato all'inizio dell'Universo quasi a chiudere l'intervallo l, L in quanto l'energia del componente iniziale dell'Universo è l'energia di Planck, legata alla lunghezza l di Planck che si assume come lunghezza minima. Il modello della nascita dell'Universo, a partire da un istante nel quale l'energia era enorme, lega il tempo dell'evoluzione alla temperatura dei costituenti e al raggio dell'Universo come approssimativamente mostrato nel diagramma.
In conclusione allo stato delle nostre conoscenze fisiche esistono due estremi uno inferiore e uno superiore che comprendono tutte le lunghezze possibili di nostro interesse.



L'ANGOLO DELLE LETTERE

Briciole di cosmologia fantascientifica

— Non so esattamente come spiegarglielo, ci vorrebbero le equazioni. Ehi! Mi potrebbe prestare un momento la sciarpa (...)?

Era una stampa fotografica riproducente un'immagine stilizzata del sistema solare (...). Max la prese e disse: «Ecco Marte. (...) Questo è Giove. Per andare da Marte a Giove lei deve percorrere questo tratto (...). Ma se io ripiegassi la sciarpa in modo che Marte si trovi al di sopra di Giove? Cosa ci impedirebbe di attraversare il piano che li separa?

— Niente, credo. Eccetto che quello funziona con una sciarpa non funziona nella pratica. Non è così?

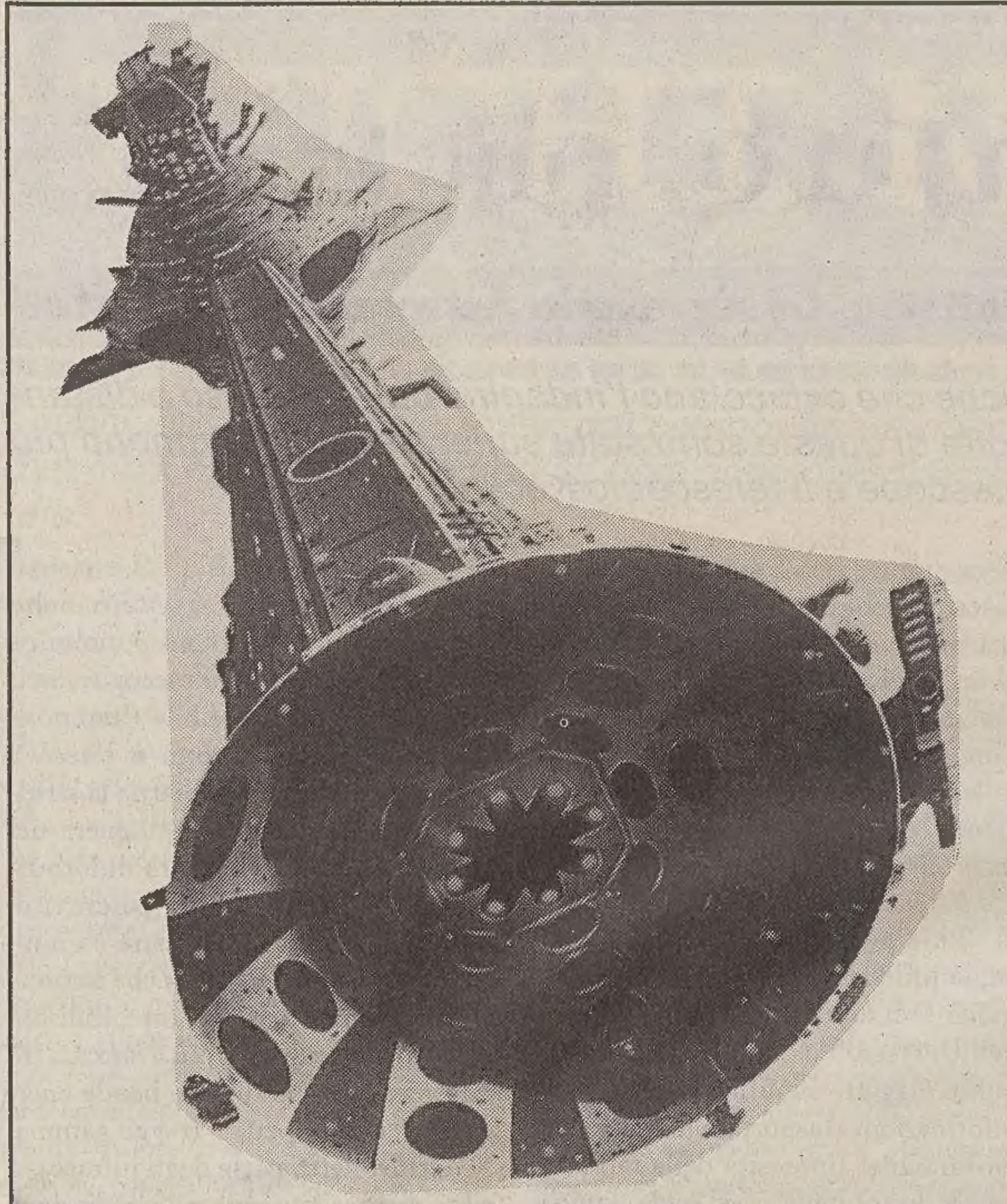
— No, non così vicino a una stella, ma funziona perfettamente una volta che ci si è allontanati da una stella, a una certa distanza. Vede, è proprio lì che si trova un'anomalia, un posto dove lo spazio si ripiega su se stesso, riducendo così una grande distanza a una distanza nulla (...). Lo spazio... il nostro spazio, può essere accorciato in maniera da stare tutto dentro a una tazzina di caffè per quanto sia ampio centinaia di migliaia di anni luce. Una tazzina quadridimensionale, naturalmente. (...) Dicevano sempre un tempo che nulla avrebbe potuto superare la velocità della luce.

Bene, questo era giusto e sbagliato nello stesso tempo... (...) è una delle anomalie di Horst. Non si può superare la velocità della luce nel nostro spazio. Se lo fa viene espulsa. Ma se lo fa dove lo spazio si ripiega ed è congruente, lei ripiomba esattamente nello stesso spazio... solo a una grande distanza. Quanto lontano dipende da come lo spazio è ripiegato. E questo dipende dalla massa nello spazio, in modo complicato che non può essere spiegato a parole ma può essere calcolato.

Robert Heinlein, *Starman Jones*, Nord, Milano 1989.

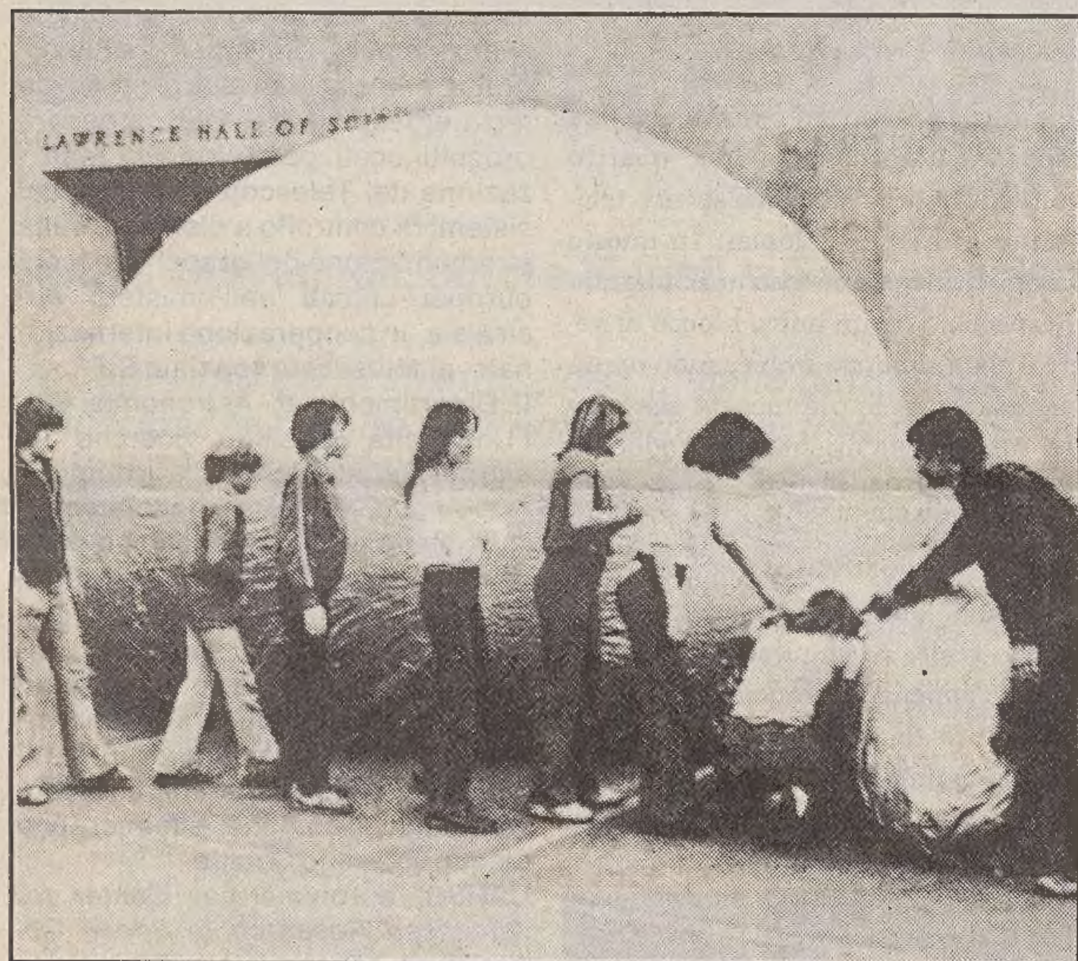
Queste aree costituiscono una specie di buco nello spazio, solo che sarebbe meglio paragonarlo a un buco attraverso due strati di tessuto. Lo spazio, sapete, è privo di sostanza ma non di forma. La cosa è stata dimostrata da Edwisker e Braintree (...), ed è questo che rende possibili i viaggi interstellari rapidi. (...) Farò entrare questa piccola nave nell'ellisse FHda. Infatti, amici, non si tratta di un buco vero e proprio. È più appropriato immaginarlo come un tubo cavo con l'interno elicoidale. La configurazione spaziale segue sempre un andamento elicoidale, salvo che in prossimità delle stelle grigie. Questo per la legge di Von Gresham.

Robert Sheckley, *Il matrimonio alchimistico di Alistair Crompton*, Urania, Mondadori, Milano 1978.



MASANI...*continua da pagina 1*

invece intrinsecamente imprevedibile; l'intervallo di prevedibilità diventa tanto più breve (in senso astronomico) quanto più stretto è il sistema. Nel caso reale del Sistema solare, in cui il Sole domina, in prima approssimazione il moto di ogni corpo è ben rappresentato dalla meccanica dei due corpi (Sole-pianeta, pianeta-satellite); in una seconda approssimazione che tiene contro dell'effetto perturbativo degli altri corpi si riescono a spiegare anche piccole differenze, quali l'effetto della precessione, oppure le irregolarità dell'orbita del pianeta Urano che permisero di scoprire Nettuno. Se si pretende di spingere la prevedibilità a tempi futuri dell'ordine dei miliardi di anni le cose si complicano notevolmente: calcoli recenti eseguiti con calcolatori molto veloci mostrano che fino a qualche centinaio di milioni di anni la struttura del Sistema solare è abbastanza prevedibile e stabile, dopo (circa 1 miliardo di anni) si instaurerà una certa instabilità, specie a causa del fatto che l'orbita di Plutone (che interseca quella di Nettuno) mostra un'instabilità per effetto di risonanza con Nettuno e potrebbe divenire caotica. In tal caso potrebbe comiciare a risentirne tutto il sistema degli altri pianeti in misura attualmente imprevedibile.



Le stelle in classe



Annamaria Mitri, esperta di didattica

L'astronomia può diventare un mezzo affascinante per presentare in classe molti concetti cruciali legati all'orientamento nello spazio, ai sistemi di riferimento, alla differenza tra oggetti percepiti e oggetti reali.

Nei programmi scolastici della scuola dell'obbligo l'astronomia è inserita tra i temi di studio delle scienze; in quelli delle medie superiori si parla di *geografia astronomica*. Se si esaminano i testi proposti nei vari ordini di scuola si nota subito come all'astronomia siano dedicate poche pagine iniziali e in seguito non si torni più sull'argomento.

Questo però non deve far pensare che a scuola essa venga sempre trattata in modo frettoloso e superficiale. Può capitare, infatti, che l'insegnante sia una specie di astrofilo autodidatta o che uno degli allievi sia spinto da insopprimibile curiosità a volerne sapere di più, e così non si passa subito ad altri argomenti, ma ci si sofferma ancora un poco oggi, ancora un po' domani, forse troppo dopodomani («Bisogna andare avanti con il programma!»). L'interesse per le meraviglie del cielo diventa interesse comune della classe: a questo punto occuparsi di didattica dell'astronomia diventa una scommessa affascinante. Si tratta di una scommessa, perché le grandezze, i rapporti, i riferimenti, i modelli sui quali fa perno l'astronomia presentano nel momento didattico molti nodi cruciali.

Sono nodi che riguardano soprattutto gli alunni della scuola elementare e in parte delle medie: ci sono aspetti di questa materia non facili da spiegare da parte degli insegnanti e difficili da capire per chi, con molta probabilità, non ha ancora sviluppato compiutamente le capacità di pensiero formale; perché, ad esempio, nelle carte geografiche il nord è sempre in alto, il sud sempre in basso? Nella realtà tridimensionale il nord non sta sopra la nostra testa né il sud sotto i nostri piedi. Oppure ancora: come mai vedo il Sole camminare nel cielo da sinistra verso destra, quando mi dicono che è la Terra che gira su se stessa da destra verso sinistra?

Si devono perciò predisporre molte attività finalizzate a un lavoro sui concetti legati all'orientamento nello spazio e ai sistemi di riferimento, proprio perché uno dei primi obiettivi è quello di far pervenire i bambini alla consapevolezza dello scarto tra percezione e realtà. Dire subito — senza conversazioni, attività, esperienze di preparazione — che alcune costellazioni tramontano e altre no non ha alcun senso per gli alunni. Ogni affermazione va preceduta da un'attenta e articolata *osservazione*; si tratta molto spesso di osservazioni su apparenze: l'ultima stella del timone del Grande Carro *non* descrive un arco di circonferenza nel corso della notte, siamo noi osservatori della Terra che abbiamo girato, pur stando fermi sul nostro balcone di casa. Per queste osservazioni non occorre molto; bastano luoghi e strumenti particolarmente semplici e a portata di tutti: un piccolo spazio di cielo, carta, matita. Necessitano ancora tempo e pazienza.

Uno dei pregi di queste osservazioni è il consolidamento di un metodo, che permetterà i salti successivi e i trasferimenti ad altre idee. In altre parole, quando il bambino avrà segnato, giorno per giorno, lo spostamento del raggio di Sole che entra dalla finestra in classe e avrà posto attenzione al punto in cui esso tramonta nelle diverse stagioni, potremo parlare di giro del Sole con cognizione di causa. Da qui si potrà avviare il discorso sulla rotazione terrestre, sul parallelismo dell'asse terrestre ecc. A questo punto sarà di grande aiuto l'animazione con sfere, luci, oggetti o con i movimenti degli stessi alunni in fondo alla classe, in palestra o nell'atrio della scuola...

Infine si può programmare una visita a un museo didattico di astronomia che contenga alcuni strumenti più raffinati quali il tellurio, l'astrolabio, il pendolo di Foucault e altri sistemi molto ingegnosi per capire, ad esempio, cosa si intende per magnitudine di una stella.

Al Laboratorio dell'Immaginario Scientifico di Trieste c'è da poco il planetario. Il vantaggio principale di questo mezzo è il fatto di comprimere il tempo di osservazione: in pochi minuti possiamo vedere il giro completo della volta celeste come si presenta in quel determinato periodo dell'anno. Una visita al planetario permette inoltre di creare un clima particolarmente suggestivo: i bambini stretti tra loro, al buio e in silenzio, provano in parte la sensazione di essere *dentro* alla sfera celeste. Una bambina ha detto di sentirsi come su di una lentissima giostra; è un'espressione che la dice lunga sul rapporto tra sensazione corporea, visione, esperienza... Non è certo la visione del cielo stellato: ma tanto non serve illudersi che la motivazione che spinge i bambini a interessarsi di astronomia sia la contemplazione del cielo. Molto più spesso sono incuriositi dai film di fantascienza. Questo non deve scandalizzarci: si tratta di un ottimo punto di partenza. Quindi, osservazioni, annotazioni, manipolazione di oggetti, spiegazioni, giochi, letture, uso di strumenti particolari ecc.: attraverso questo percorso il bambino capirà non solo come stanno le cose, ma anche perché sino a pochi antenati fa è venuto da pensare di essere il centro dell'Universo.

Una contestazione del genere non è affatto superflua; infatti è bene che i ragazzi si rendano conto che osservazioni, strumenti, discorsi, disegni concorrono tutti a formare delle conoscenze, delle idee, dei concetti, ma anche che questi non sono né completi né definitivi. Ci si apre così, anche a livello di insegnamento, all'intuizione del fatto che la scienza procede per modelli, scelti volta per volta all'interno di una complessità irriducibile a un percorso lineare e valido una volta per tutte.

NEWS



DALL'IMMAGINARIO

Itineranza a Prata di Pordenone. Nei locali della scuola media di Prata di Pordenone sarà allestita dal 19 al 31 marzo *Incontri con la scienza*, una rassegna sulla divulgazione scientifica per ragazzi. Oltre alla mostra del Libro Scientifico sarà proposto un percorso sui principali temi astronomici che comprende animazioni nel planetario gonfiabile, software interattivi e osservazioni notturne anche per il pubblico adulto.

Sentinelle ambientali a Udine. Dall'1 al 30 aprile nel Museo Friulano di Storia Naturale sarà allestita la mostra interattiva *Sentinelle ambientali, i licheni come bioindicatori dell'inquinamento atmosferico*, prodotta dal LIS e realizzata dalla Cooperativa Ecothema. L'iniziativa si colloca nell'ambito delle manifestazioni promosse in occasione della III Settimana della Cultura Scientifica.

Le conferenze. Alla Fiera di Trieste, lunedì 1 marzo alle 18, Alberto Masani, astrofisico dell'Università di Torino, terrà una conferenza dal titolo *Caosmos, il disordine dell'Universo*. Parteciperà Margherita Hack.

Per il ciclo *Dal mondo della precisione all'universo della complessità* mercoledì 3 marzo alle 18, Marino Gatto del Dipartimento di Elettronica ed Informazione del Politecnico di Milano parlerà di *Equilibri naturali e caos, fluttuazioni ed oscillazioni negli ecosistemi*. Lunedì 8 marzo alle 18, sarà la volta di Carlo Matessi dell'Istituto di Genetica e Biochimica evoluzionistica del CNR di Pavia, con una conferenza dal titolo *Conflitto e cooperazione, teorie sull'evoluzione delle società degli animali*.

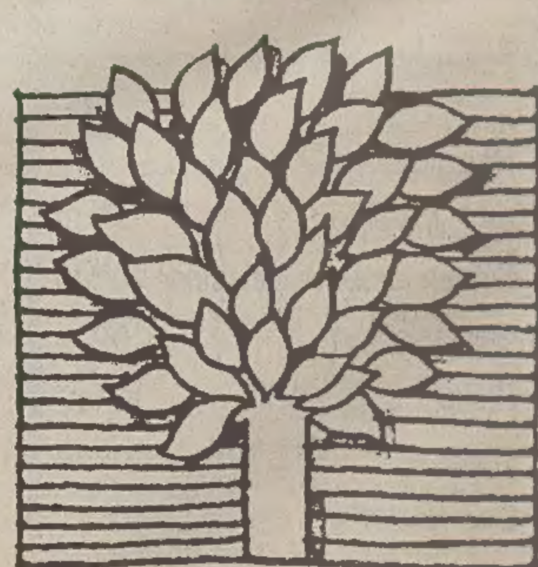
Per la serie di incontri organizzati dalla Provincia di Verona in collaborazione con il LIS, il 26 marzo Paolo Zlobec, dell'Osservatorio Astronomico di Trieste, terrà a Verona una conferenza dal titolo *Radioastronomia, vedere l'invisibile*.

Corso per insegnanti. Ogni martedì pomeriggio, dal 9 al 30 marzo, si svolgerà *Dare mani al pensiero*, corso di progettazione e realizzazione di oggetti per la scuola (strumenti, sussidi, giochi didattici) organizzato dal LIS e dal Movimento di Cooperazione Educativa. Il corso è dedicato agli insegnanti della Scuola materna, elementare e media della Regione ed è riconosciuto dal Ministero alla Pubblica Istruzione.

la scienza da sfogliare

Il nostro Sistema solare, la Terra, la nostra base, il Sole, C'è vita sugli altri pianeti? Furono le comete a uccidere i dinosauri? Com'è nato l'Universo? Questi sono i titoli di altrettanti libri per ragazzi pubblicati dalla casa editrice Editoriale Scienza di Trieste, una giovane casa editrice specializzata in divulgazione scientifica. Non quindi libri a carattere enciclopedico, come in una vecchia concezione della divulgazione, ma agili e divertenti monografie per ragazzi a partire dai nove anni, che insieme ad altri numerosi titoli costituiscono la **Biblioteca dell'universo**, una serie progettata e curata da Isaac Asimov. Coloratissimi, con testi chiari e divertenti, pieni di curiosità, schemi, informazioni su altre letture e musei e istituzioni scientifiche da visitare, questi libri rappresentano un buon esempio di libri divulgativi interessanti come narrativa, ma corretti dal punto di vista scientifico (e con un prezzo di lire 13.000 giustamente accessibile a ogni tasca); appartengono cioè a un nuovo modo di parlare di scienza ai ragazzi, già diffuso nei paesi di lingua anglosassone (da cui le numerose traduzioni dall'inglese che ritroviamo nelle nostre librerie), ma che si sta ora diffondendo anche in Italia, dove solo da poco ci si è convinti che educare al pensiero scientifico (ma soprattutto farne sperimentare il metodo) sono obiettivi della stessa importanza dell'educare alle abilità linguistiche.

L'editoria italiana ha comunque risposto prontamente alla richiesta di nuovi materiali, e in questi ultimi anni sta mettendo in commercio sempre più numerose e migliori proposte editoriali. Sta ora ai genitori (e agli insegnanti non ancora convinti) scoprire che un buon libro scientifico può entusiasmare come una bella storia, un buon romanzo o, se il caso, lasciare che i propri figli usino acqua, sugheri e cos'altro sia richiesto per seguire le istruzioni dei nuovi libri di esperimenti che sono in commercio. Faranno forse più confusione che seduti davanti al televisore, ma ne vale la pena.



L'IMMAGINARIO SCIENTIFICO NOTIZIE

Editore: Società Editoriale Libraria per azioni.
Stampato presso: O.T.E. via Guido Reni, 1.
Pubblicazione registrata al Tribunale di Trieste, n. 773 del 24/1/90.
Direttore responsabile: Margherita Hack.
In redazione: Simona Cerrato, Ettore Panizon.
Impaginazione: Aura Bernardi.
Hanno collaborato: Nicoletta Grandi, Paola Rodari, Nicoletta Tamburini.